

A. Présentation

On s'intéresse à un chariot motorisé du fabricant HYSTER utilisé pour assister des opérateurs dans des tâches de manutention de charges lourdes. La rotation du timon autour des différents axes permet d'orienter et/ou de freiner le chariot. Les commandes des vitesses avant et arrière et la commande d'élévation de la fourche qui supporte la charge sont placés en bout du timon, sous la main de l'utilisateur.

L'étude porte plus particulièrement sur l'unité motrice et directrice du chariot. Cet ensemble se compose de :

- un moteur à courant continu M, 24 V , à axe vertical, à fixation par bride, alimenté par batteries. Vitesse de rotation : $N = 1\,500\text{tr/min}$.
- une chaîne cinématique (voir représentation technique 2D page suivante) composée de :
 - un engrenage conique à denture droite ($m = 1,5$) :
 - pignon d'entrée 27 : $Z_{27} = 16$,
 - roue dentée conique 35 : $Z_{35} = 84$,
 - un train d'engrenages cylindriques à denture droite ($m = 1,5$) :
 - pignon 5 : $Z_5 = 14$,
 - roue dentée intermédiaire 11 : $Z_{11} = 56$,
 - roue dentée 16 : $Z_{16} = 75$,
 - une roue 46 dont le rayon est de $r = 90\text{mm}$
- un roulement particulier 13, permet au carter 8 de pivoter par rapport au châssis C du chariot autour de l'axe vertical.

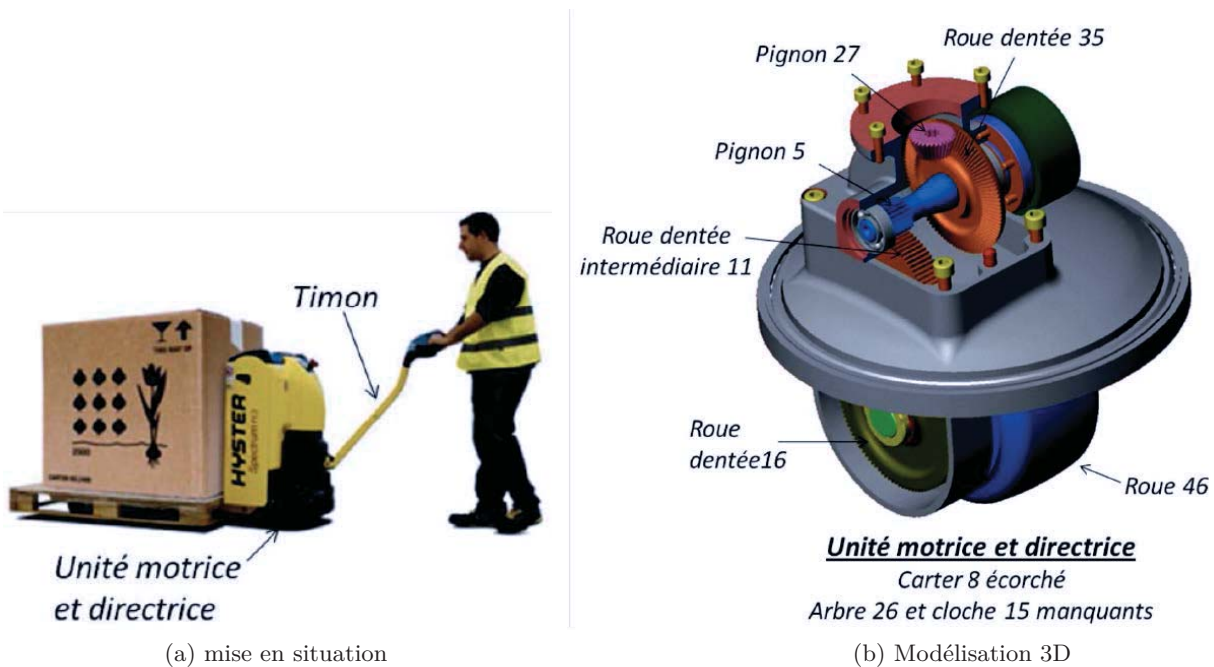


Figure 1 – Train simple

On retrouve sur la figure 2 la représentation technique 2D de la roue et le schéma cinématique de l'unité motrice et directrice.

Q1. Déterminer le rapport de réduction $\mu = \frac{\omega_{46/8}}{\omega_{27/8}}$

Q2. Déterminer la vitesse de rotation de la roue 46 en tr/min

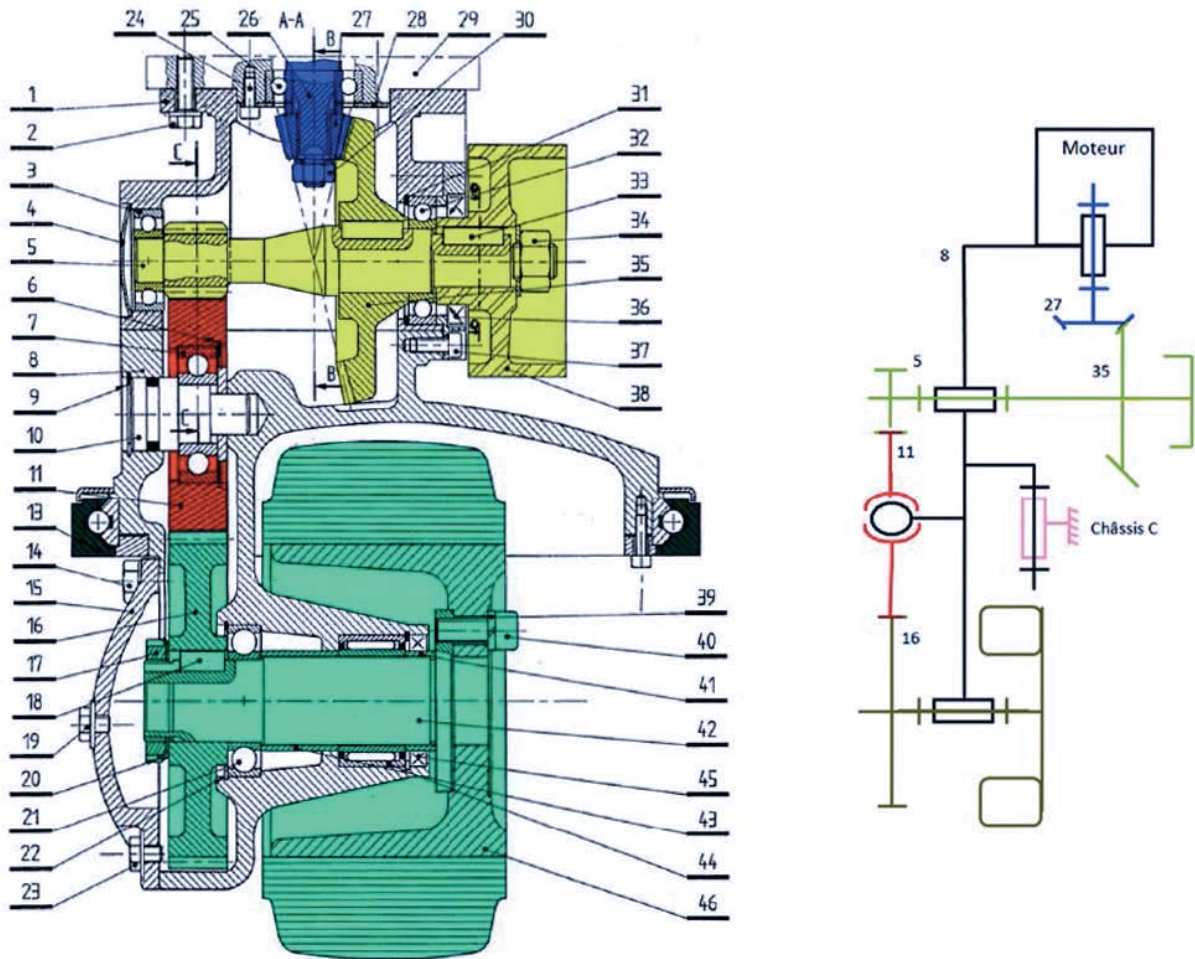
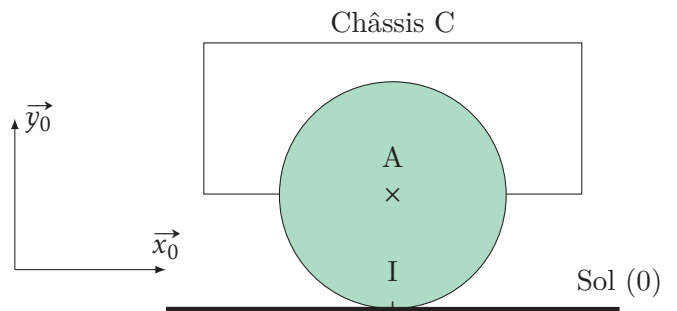


Figure 2 – Représentation technique 2D et schéma cinématique

On suppose qu'il y a roulement sans glissement au contact roue/sol.

Q3. Déterminer, dans le cas d'un déplacement du chariot en ligne droite, la vitesse d'avance du chariot.



A. Mise en situation

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. Pour les prochaines décennies, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres :

- elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement,
- elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets,
- elles sont inépuisables,
- elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux,
- elles offrent une importante indépendance énergétique.



Figure 3 – Aerogénérateur

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission, puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'un générateur.

A.1. Constitution de l'éolienne à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus largement employées. Même si elles nécessitent très souvent un mécanisme d'orientation des pales, elles présentent un rendement aérodynamique plus élevé, démarrent de façon autonome et représentent un faible encombrement au niveau du sol.

Une éolienne est composée de plusieurs constituants présents sur les schémas suivants : un mat ou tour, supporte la nacelle et le rotor. Il est important qu'il soit haut du fait de l'augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur et aussi du diamètre du rotor. Il est tubulaire et contient un ascenseur. La nacelle partiellement insonorisée, avec une armature métallique, accueille le générateur et son système de refroidissement, le multiplicateur de vitesse et les différents équipements électroniques de contrôle qui permettent de commander les différents actionneurs d'orientation ainsi que le fonctionnement global de l'éolienne.

Le multiplicateur de vitesse comporte un arbre lent en sortie du moyeu (après l'hélice) supportant le rotor et un arbre à grande fréquence de rotation (1500 tours/min). Il est équipé d'un frein à disque, auquel est accouplé le générateur. Le multiplicateur de vitesse peut être pourvu d'un système de refroidissement à l'huile.

Le rotor possède trois pales qui permettent de capter l'énergie du vent et de la transférer à l'arbre lent. Un système hydraulique permet d'orienter les pales et de réguler la fréquence de rotation du rotor à une valeur constante. Les pales fournissent également un frein aérodynamique par « mise en drapeau » ou seulement par rotation de leurs extrémités. Un mécanisme utilisant des moteurs d'orientation permet de diriger la nacelle face au vent. Un anémomètre et une girouette situés sur le toit de la nacelle fournissent les données nécessaires au système de contrôle pour orienter l'éolienne et la déclencher ou l'arrêter selon la vitesse du vent.

On retrouve sur la figure 4 et sur la figure 7 les principaux constituants de l'aérogénérateur.

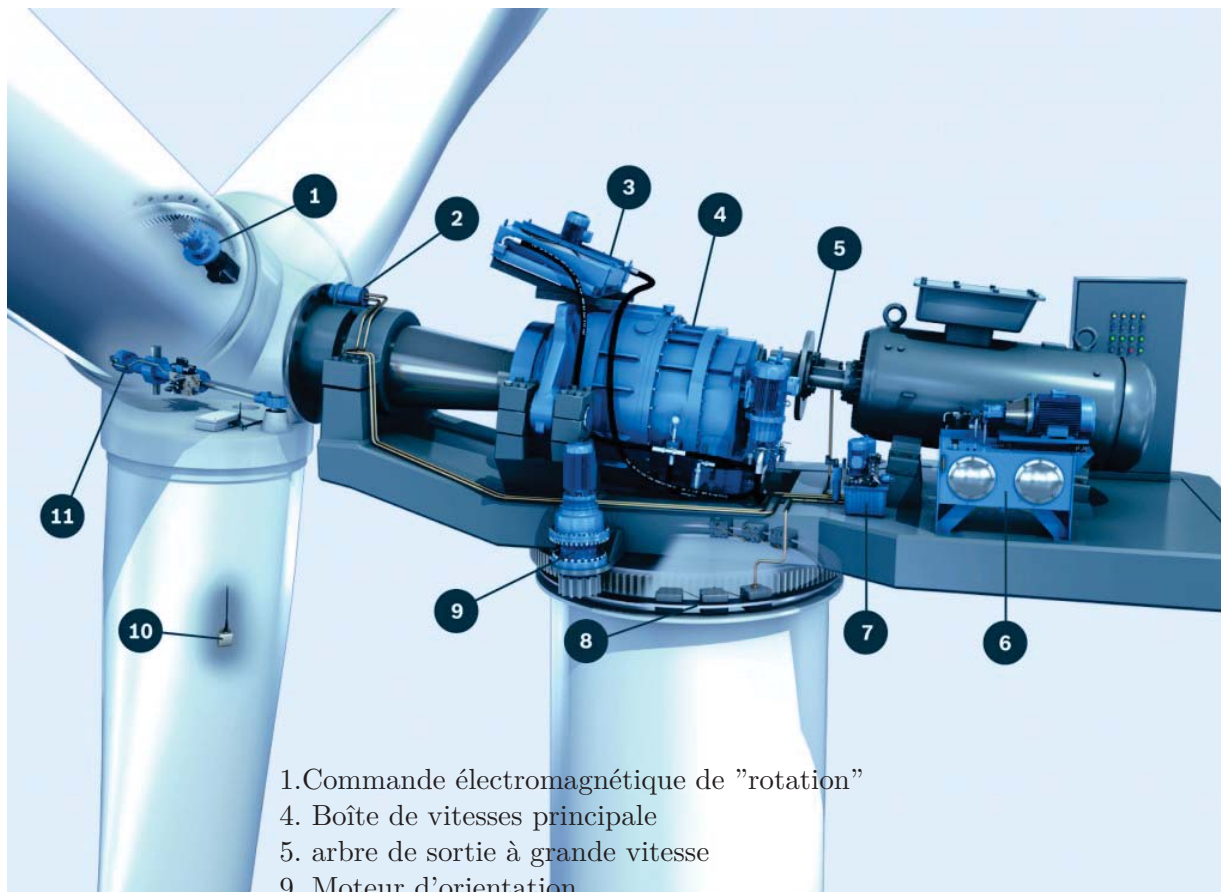


Figure 4 – Chaîne d'énergie de l'aérogénérateur

A.2. Exigences

L'exigence principale de l'aérogénérateur est de produire de l'énergie électrique à partir d'une source de vent variable, aussi bien en intensité qu'en direction.

Pour cela, l'aérogénérateur doit être capable

- d'orienter la nacelle afin de mettre les hélices face au vent dominant,
- de faire varier l'inclinaison des hélices afin d'optimiser la prise au vent,
- de faire en sorte que l'arbre de sortie à grande vitesse tourne à une vitesse de 1 500 tr/min.

B. Orienter la nacelle

Le schéma de la figure ?? décrit la chaîne d'énergie permettant l'rotation de la nacelle (3)

- Le carter du moteur est solidaire de la nacelle (3).

- La roue dentée (1) est solidaire du mas (0) elle possède $Z_1 = 90$ dents et de rayon primitif r_1 .
- Le pignon moteur (2) de $Z_{2a} = 15$ dents et de rayon primitif r_2 est solidaire de l'axe moteur.
- Le module est $m = 40$ mm.
- Le réducteur (simplifié sur la figure) formé des engrenages (4) et (2b) $k_1 = \frac{\omega_2}{\omega_4} = \frac{1}{50} 2$

On note

- $\omega_m = \omega_{2/3}$ la vitesse de rotation de l'axe du moteur,
- $\omega_n = \omega_{3/0}$ la vitesse de rotation de la nacelle par rapport au sol.

On pose

- O un point de l'axe de rotation de la nacelle d'axe (O, \vec{z}_0) ;
- A un point de l'axe de rotation de l'axe du moteur (2) par rapport à la nacelle (3) d'axe (A, \vec{z}_0) avec $\vec{OA} = d \cdot \vec{x}_3$.
- I le point de contact entre les deux roues dentées, avec $\vec{OI} = r_1 \cdot \vec{x}_3$.

Q1. Déterminer le diamètre de la roue (1) et du pignon(2a).

Q2. À partir de la condition de roulement sans glissement en I, déterminer $k_2 = \frac{\omega_n}{\omega_{2/3}}$.

Q3. En déduire le rapport de réduction $\frac{\omega_n}{\omega_{2/3}}$.

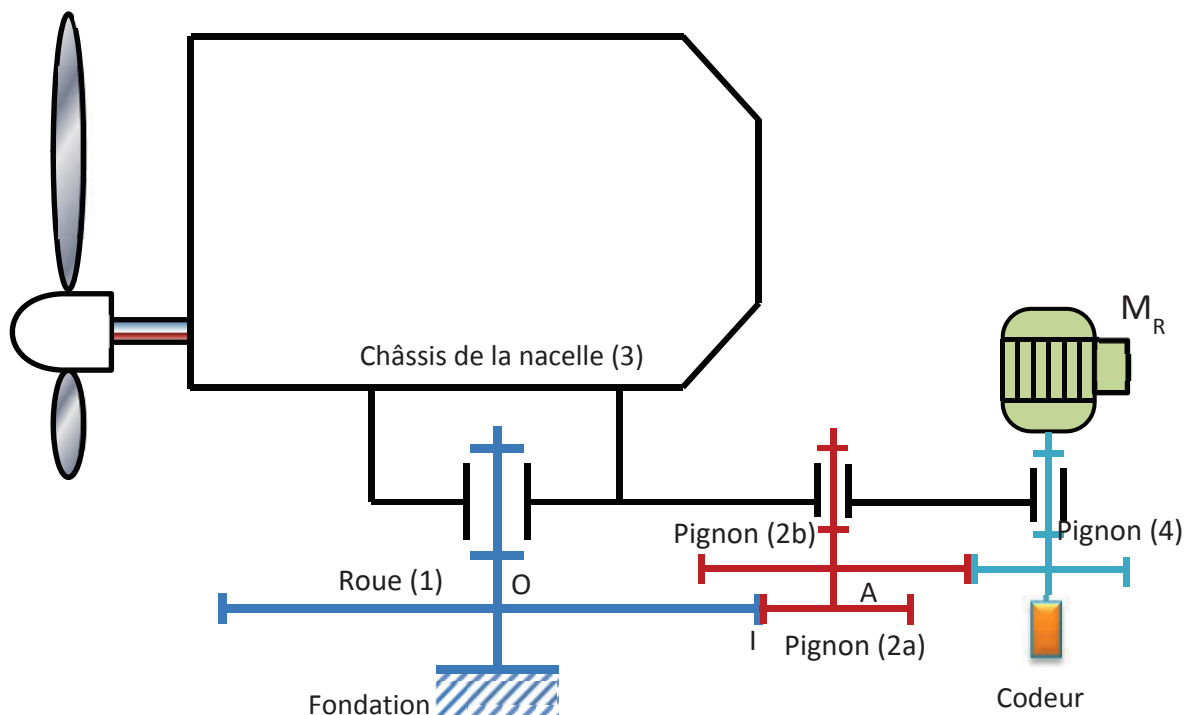


Figure 5 – Schéma cinématique avec installation du codeur de position

C. Multiplier la vitesse

La vitesse de rotation des pales de l'éolienne est relativement lente ($N_h = 30$ tr/min), la génératrice a besoin d'une vitesse de rotation de $N_g = 1500$ tr/min pour fonctionner correctement. La boîte de vitesse doit donc augmenter la vitesse de rotation.

Le croquis de la figure 6 présente le multiplicateur.

On note :

- le référentiel (0) est lié à la nacelle (n).
- (1) l'arbre lent solidaire de l'hélice, l'arbre (1) et en liaison pivot d'axe (O, \vec{x}_0) par rapport à la nacelle n, on pose $\omega_{1/n}$ la vitesse de rotation de l'hélice. le planétaire (1) comporte $Z_1 = 91$ dents,

- (3) l'arbre rapide est lié à la génératrice, il est en pivot d'axe (O, \vec{x}_0) par rapport à la nacelle, on pose $\omega_{3/n}$ la vitesse de rotation de la génératrice,
- Le planétaire (0) est solidaire de la nacelle avec $Z_0 = 90$ dents.
- Le satellite (2) est en liaison pivot d'axe (A, \vec{x}_0) par rapport au porte satellite (3). La roue (2a) avec $Z_{2a} = 120$ dents engraine avec la roue (1), I le point de contact entre les deux roues. La roue (2b) avec $Z_{2b} = 121$ dents engraine avec la roue planétaire (0), J le point de contact entre les deux roues. On note $\omega_{2/3}$ la vitesse de rotation du satellite par rapport au porte satellite.

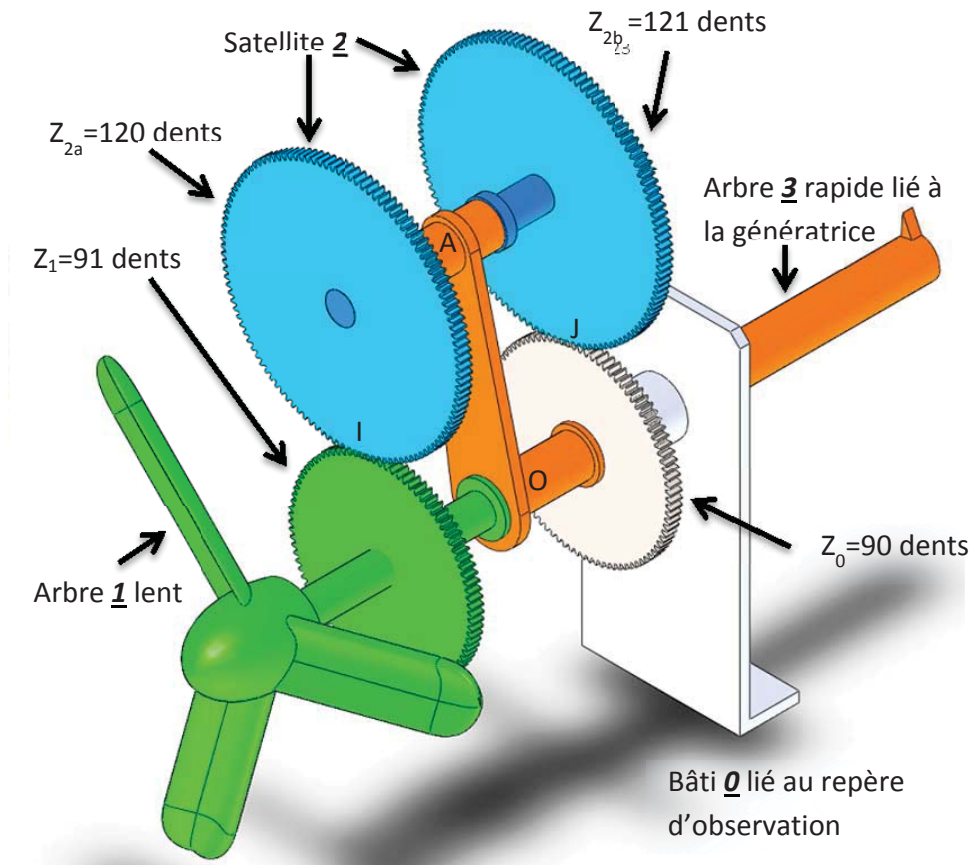
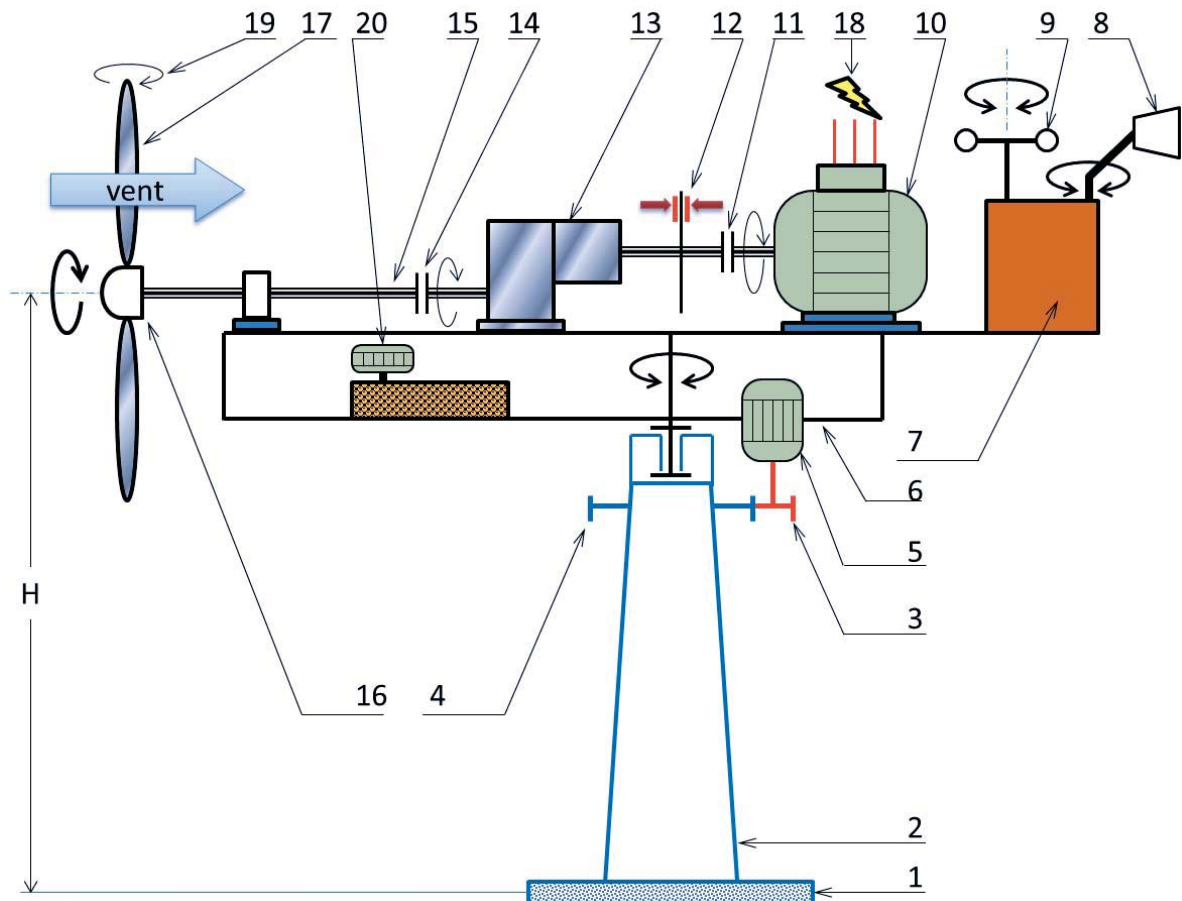


Figure 6 – Schéma de la boîte de vitesse multiplicatrice

Q4. Tracer le schéma cinématique du multiplicateur.

Q5. Déterminer, par la méthode de votre choix, $\frac{\omega_{3/n}}{\omega_{1/n}}$

Q6. Le multiplicateur permet-il d'assurer la vitesse de rotation souhaitée de la génératrice.



Repère	Désignation	Repère	Désignation
1	Fondation	11	Accouplement à haute fréquence de rotation
2	Tour	12	Frein à disque
3	Pignon d'entraînement de la nacelle	13	Multiplicateur de vitesse
4	Roue dentée liée à la tour	14	Accouplement à basse fréquence de rotation
5	Moteur d'orientation de la nacelle	15	Arbre lent
6	Nacelle orientable	16	Moyeu du rotor à 3 pales
7	Unité centrale	17	Pale à pas variable
8	Girouette	18	Réseau électrique
9	Anémomètre	19	Système de régulation du pas des pales
10	Générateur	20	Groupe hydraulique

Figure 7 – Schéma de principe de l'aérogénérateur

A. Présentation

Un différentiel est un système mécanique qui a pour fonction de distribuer une vitesse de rotation par répartition de l'effort cinématique, de façon adaptative, immédiate et automatique, aux besoins d'un ensemble mécanique.



Figure 8 – Modélisation 3D d'un différentiel

Par exemple, il est très utile sur un véhicule automobile où il permet aux roues motrices de tourner à des vitesses différentes lors du passage d'une courbe (figure 9) : les roues situées à l'extérieur du virage tournent plus vite que celles situées à l'intérieur, ce qui évite un glissement indésirable des roues.

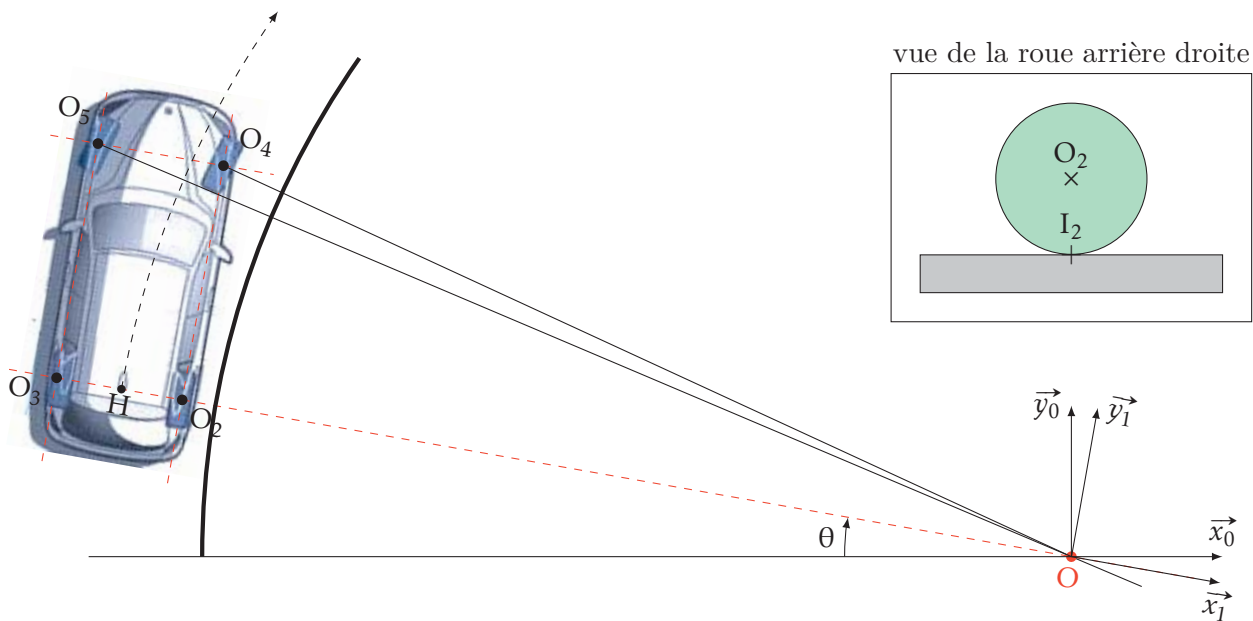


Figure 9 – Trajectoire circulaire

On note :

- $\mathcal{R}_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ le repere associé au sol (0) ;
- O : le centre de la trajectoire circulaire,
- $\mathcal{R}_1 = (H, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ le repere associé au véhicule (1) avec $OH = R$ et H le milieu de O_2O_3 .
- $(\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1) = \theta$ et $\omega_{10} = \frac{d\theta}{dt}$

- O_2, O_3, O_4, O_5 , respectivement les centres des roues arrière droite (2), gauche (3), roue avant droite (4) et gauche (5). $O_2O_3 = O_4O_5 = L$ et $O_2O_4 = O_3O_5 = a$
- $\omega_{21}, \omega_{31}, \omega_{41}, \omega_{51}$, les vitesses de rotation des roues par rapport à leur axe de rotation par rapport au véhicule.
- I_2, I_3, I_4, I_5 , le point de contact avec le sol de chaque roue. On suppose que les roues roulent sans glisser en I_i . on pose r le rayon des roues.

B. Étude

B.1. Étude cinématique préalable

Q1. Justifier la nécessité d'un différentiel en déterminant :

Q1a. $\vec{V}_{O_2 \in 1/0}$ et $\vec{V}_{O_3 \in 1/0}$

Q1b. Préciser les conditions de non glissement en I_2 et I_3 , en déduire ω_{21} et ω_{31}

Q2. Conclure.

B.2. Étude du différentiel

On considère que le véhicule étudié est un véhicule à propulsion (les roues arrière sont motrices contrairement aux véhicules à traction, où les roues avant sont motrices).

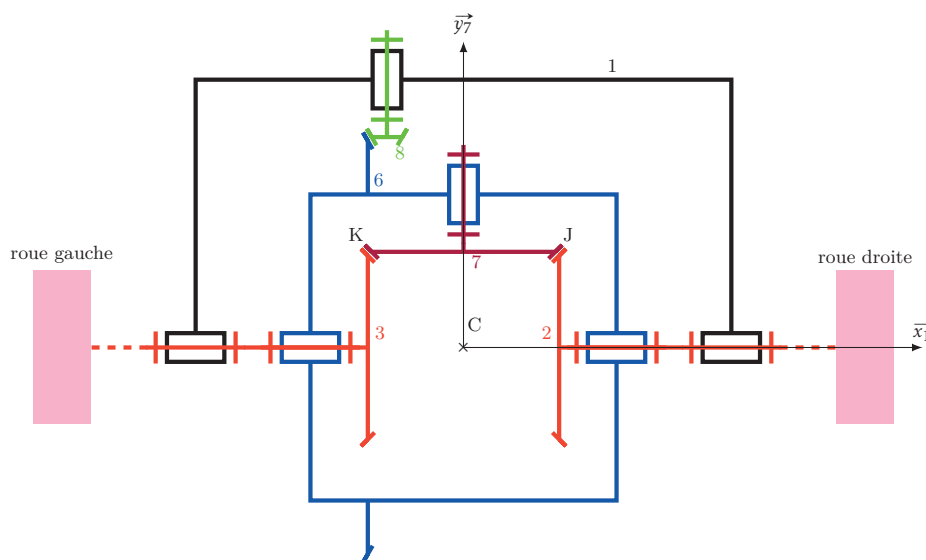


Figure 10 – Schéma cinématique du différentiel

La figure 10 décrit le schéma cinématique d'un différentiel :

- Le carter (1) est solidaire du châssis de la voiture,.
- L'arbre (2) est solidaire de la roue droite en pivot d'axe (C, \vec{x}_1) par rapport au carter (1), on note ω_{21} la vitesse de rotation de la roue droite, R_2 le rayon du pignon conique avec Z_2 dents.
- L'arbre (3) est solidaire de la roue gauche en pivot d'axe (C, \vec{x}_1) par rapport au carter (1), on note ω_{31} la vitesse de rotation de la roue gauche, $R_3 = R_2$ le rayon du pignon conique avec $Z_3 = Z_2$
- la cloche (6) est en pivot d'axe (C, \vec{x}_1) par rapport au carter (1), on note ω_{61} la vitesse de rotation de la cloche par rapport au carter(1).
- Le satellite (7) est en liaison pivot d'axe (C, \vec{y}_7) par rapport à la cloche, on note ω_{76} la vitesse de rotation du satellite par rapport à la cloche, R_7 le rayon conique avec Z_7 dents.
- Le pignon conique (8) (Z_8 dents) est relié à l'arbre moteur, on note ω_{81} la vitesse d'entrée. Le pignon (8) engrène avec la couronne (6) solidaire de la cloche avec Z_6 dents.

Q3. Écrire la condition de non glissement en J, en déduire la relation entre ω_{26} et ω_{76} .

Q4. Écrire la condition de non glissement en K, en déduire la relation entre ω_{36} et ω_{76}

Q5. À partir de ces deux relations, déterminer la relation entre ω_{61} , ω_{21} et ω_{31} .

Q6. Conclure sur le fonctionnement du différentiel.